

Cod. Barras/ 103349



N.º R. ALEPH 930099
N.º R. Bib. 4278
Signat. HAFIDI M/CI-38 2001

XXXVIII CURSO DE EDAFOLOGÍA Y BIOLOGÍA VEGETAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGÍA DE
SEVILLA



IMPACTO DEL APORTE DE ABONO
NITROGENADO, POR FERTIRRIGACIÓN, SOBRE EL
DESARROLLO DE LA PLANTA DE OLIVO Y EL
CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SULO Y EN
HOJA

HAFIDI

M/CI-38

2001

Bouchra HAFIDI

Sevilla, julio de 2001

Este trabajo fue realizado por Bouchra HAFIDI, licenciada en Biología vegetal de la Universidad de Meknés, Marruecos. El mismo fue asesorado por el Dr. José Enrique Fernández Luque, Científico Titular del Departamento de Sostenibilidad Suelo-Planta-Atmósfera del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNASE), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Las investigaciones se desarrollaron durante el XXXIII Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal, en Sevilla.

Fdo. Dr. José Enrique Fernández Luque

Fdo. Bouchra HAFIDI



AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado en la realización de este trabajo:

Al Dr. José Enrique Fernández Luque, por su dedicación, consejos y por su disposición como tutor de este trabajo.

A mis padres, hermanas y hermanos, por su confianza y su apoyo, que nunca me han faltado. A mi marido Abdallah por su comprensión y apoyo moral y por conseguir equilibrar mi personalidad y darme ilusión en el futuro. A mi sobrino Adam.

A los doctores D. Luis Clemente Salas y D. José Miguel Barea Navarro por haberme brindado la oportunidad de participar en el presente curso. Un agradecimiento especial al Doctor Luis Clemente Salas, por su acogida y su amistad.

A la agencia española de cooperación internacional (AECI) por haberme concedido la beca del curso.

Al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y, en especial, todo el personal del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, por acogerme y poner a mi disposición todos los medios necesarios.

A los doctores Félix Moreno y Antonio Troncoso, por la ayuda y consejos que me han prestado en todo momento.

A mis compañeros del curso Carmen (Venezuela), Israel (México), Alberto (Guinea Ecuatorial), Hai (Vietnam) y Laura (Argentina) por los buenos ratos que hemos pasado juntos y por su amistad que ha hecho grata la realización del presente trabajo.

A todos los demás compañeros de los que no daré nombres para evitar imperdonables olvidos. Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

Resumen	1
1.1- Generalidades sobre el olivo y su cultivo	3
1.2- El uso de los fertilizantes y contaminación del medio	4
1.3- Efectos de la fertirrigación	5
1.3.1- Sobre el crecimiento y la producción	5
1.3.2- Sobre la calidad de aceite	6
2.- OBJETIVOS DEL TRABAJO	7
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.1.- Zona de estudio	8
3.1.1- Situación y características generales del suelo y de la plantación	8
3.1.2- Clima y registros meteorológicos.....	8
3.2- Manejo de la parcela.....	9
3.3.- Determinación del consumo hídrico del cultivo	9
3.4- Características del fertilizante	15
3.5- Medidas experimentales	16
3.5.1- Medidas en el suelo	16
3.5.2.- Medidas en la planta.....	19
3.5.3.- Control de la calidad del aceite.....	20
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1- Estado hídrico del suelo.....	21
4.1.1- Contenido volumétrico de agua en suelo	21
4.1.2- Potencial mátrico del suelo.....	25
4.2- Efectos de la fertirrigación sobre el contenido de nutrientes del suelo.....	25
4.3- Efectos de la fertirrigación sobre el crecimiento y la producción	26
4.4- Efectos de la fertirrigación sobre la calidad del aceite	28
4.4. efectos de la fertirrigación sobre el contenido de N en hojas	29
5.- CONCLUSIONES	31
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	32

Resumen

Este trabajo es uno de los desarrollados en el marco del proyecto titulado “Influencia de la fertirrigación sobre el contenido de nutrientes en el suelo, desarrollo de la planta de olivo y el rendimiento y calidad de la cosecha”. Se ha estudiado la influencia de la fertirrigación sobre distintos comportamientos de la planta: crecimiento, producción y fotosíntesis; también sobre la fertilidad del suelo, ya que una buena parte de la contaminación de las aguas subterráneas deriva del uso de los fertilizantes.

El trabajo se realizó en una plantación experimental de 3 ha dentro de una parcela ubicada aproximadamente a 12 km al sureste de Sevilla, y a 1.7 km al noreste de la localidad de Dos hermanas, junto al sanatorio El Tomillar (37° 18' N, 5° 54' W). La plantación es de olivos Manzanilla de 9 años de edad cuando empezó el proyecto, en 1998. Los árboles, formados a un pie y con dos ramas principales, están plantados a 7 m × 7 m.

En esta parcela se instaló un sistema de riego por goteo y equipo de inyección de abonos. El diseño experimental estuvo constituido por 4 tratamientos y 6 bloques por tratamiento distribuidos al azar, cada uno de 4 plantas. Los tratamientos fueron: T1) sólo agua de riego; T2) T3) y T4) respectivamente 100, 200, 400 g de N por árbol y período de riego, de un abono triple N-P-K (4-1-3). El abono se aplicó con el agua de riego. La dosis de agua de cada riego fue igual a la evapotranspiración del cultivo, deduciendo la precipitación efectiva. Junto a la parcela se instaló una estación meteorológica automática para el registro de los datos meteorológicos.

El seguimiento de la evolución del contenido de agua en suelo se hizo con sonda de neutrones para medir el contenido volumétrico de agua en suelo, y con tensiómetros de mercurio para medir el potencial mátrico de agua en suelo. Se instalaron 3 tubos de sonda de neutrones por tratamiento, y 5 baterías de 2 tensiómetros cada una por tratamiento. Los perfiles del contenido de agua en suelo, así como el potencial mátrico,

fueron similares en los distintos tratamientos de fertirrigación debido a la uniformidad de riego y demostraron que el cultivo se mantuvo bien regado en todo momento.

Para extraer la solución de suelo y determinar sus características y composición se usaron extractores de cápsula porosa que se instalaron en 5 árboles de cada tratamiento, junto a los tensiómetros. Los resultados de estos análisis mostraron que los contenidos de nitratos más altos se encontraron en los tratamientos T3 y T4. En cuanto a los otros elementos analizados, no se encontraron concentraciones anormales.

Se tomaron medidas del diámetro de la copa y del tronco de los árboles, de la longitud de los ramos y de la floración. Todos los resultados de estas medidas mostraron que, tras dos años de experimento no se notó ningún efecto de la fertirrigación sobre el crecimiento o la producción de la planta.

Los análisis foliares mostraron que la fertirrigación aumentó el contenido de nitrógeno total de las hojas así como su peso específico.

Sobre la calidad del aceite, se ha constatado que la fertilización no parece influir y que los aceites procedentes de frutos de los distintos tratamientos fueron iguales.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1- Generalidades sobre el olivo y su cultivo

El olivo, *Olea europaea* L., es una especie perenne subtropical de gran longevidad, y probablemente el árbol frutal subtropical más resistente al frío (Denney y McEachern, 1985). Es una especie esclerófila, más resistente a la sequía y a la salinidad que otras especies frutales de clima templado. Su hábitat se concentra entre las latitudes 30° y 45°, tanto en el hemisferio norte como en el sur (Hartmann, 1953; Yáñez y Lachica, 1971), encontrándose el 95 % de la superficie total en los países de la cuenca mediterránea. Puede ser cultivada en una amplia variedad de suelos, incluso en suelos de poca profundidad y baja calidad; sólo los suelos muy compactados y con escaso drenaje son un factor limitante para el cultivo, debido a la sensibilidad de la planta a la asfixia radicular (Martín-aranda y col., 1975; Denney y McEachern, 1985).

El cultivo del olivo es una actividad muy importante en la agricultura española, cultivándose en todo el territorio nacional, salvo en Asturias, Cantabria y Galicia. Según el MAPA (1998). España es el primer productor y exportador de aceitunas y aceite en el mundo, con una superficie de 2.265.000 ha, lo cual supone aproximadamente el 25 % de las 8.701.697 ha que en total se cultivan en el mundo. De la primera cifra comentada, 2.131.412 ha son para aceite y el resto para aceituna de mesa, correspondiendo el 65 % de la producción nacional a Andalucía. Probablemente la superficie real hoy día sea superior a estas cifras, ya que el cultivo a tenido un notable incremento en los últimos años.

El olivo, como ya se ha comentado, tiene una gran capacidad de adaptación a la sequía, siendo capaz de dar producciones aceptables en plantaciones de secano en zonas en las que la pluviometría media está alrededor de 500 mm, con una duración de la estación seca de 5 ó 6 meses (Fernández y Moreno, 1999). Sin embargo, el riego resulta una práctica importante para aumentar la rentabilidad de las explotaciones. Por un lado, la planta responde muy favorablemente al riego, aunque la dosis aplicada sea pequeña

(Abd-el-Rahman y El-sharkawi, 1974; Lavee y col., 1990; Goldhamer, 1997; Fernández y col., 1997a). Por otro lado, en las nuevas plantaciones intensivas el aumento de la densidad de plantación hace que la lluvia no sea suficiente para suplir la demanda hídrica de las plantas, resultando el riego necesario para conseguir una producción elevada.

El riego localizado de alta frecuencia es el más utilizado actualmente en el olivar. Su popularidad se basa en que con él se logra el mayor ahorro de agua, al minimizarse las pérdidas por evaporación y por escorrentía. También disminuyen los daños por erosión en suelos con pendiente, y se logra una buena homogeneidad en la aplicación del agua a los árboles, siempre que el sistema se cuide adecuadamente (Orgaz y Fereres, 1997; Fernández y col., 1998b). Fernandez y col. (1992) observaron que las buenas condiciones de humedad que se mantienen en el bulbo de riego no solo favorecen la aparición y desarrollo de nuevas raíces, sino que alargan el período de máxima actividad de las mismas.

1.2- El uso de los fertilizantes y contaminación del medio

La fertirrigación consiste en aplicar a la planta los abonos disueltos en el agua de riego. Se trata de un método económico para suministrar nutrientes a las plantas. Al aportar los abonos disueltos en el agua de riego se consigue, además, localizar los nutrientes directamente en las zonas en las que existe una mayor densidad y actividad radical, con lo que se mejora la absorción de los nutrientes por la planta (Granelli, Lovati y Testoni 1994, y Neuman y Snir, 1995). Esta práctica es de uso generalizado en el caso de riegos localizados, pues no tiene sentido instalar dicho sistema de riego y no fertirrigar. Esta práctica de riego ofrece, también, la posibilidad de aplicar los abonos tantas veces como se crea necesario, sin que ello signifique, como con otras técnicas de abonado, un perjuicio económico importante. De este modo, la planta puede disponer de los nutrientes con continuidad.

A pesar de que el olivo se cultiva en España desde hace siglos, no existe aún una práctica de fertilización común para la mayoría de las fincas de olivar. Sería deseable que los olivares se fertilizasen siguiendo criterios claros y con suficiente base científica

como para aclarar adecuadamente las dudas de los técnicos y agricultores encargados de decidir cómo aplicar los fertilizantes. Sin embargo, unas veces porque hay casos que no se han estudiado y otras porque la información existente no se ha divulgado suficientemente, la realidad es que los olivares se abonan en muchos casos de forma dispar e inadecuada, siendo frecuente el uso de dosis de fertilizantes injustificadamente altas. Esto ocurre en prácticamente todos los cultivos, de forma que, aparte del gasto innecesario en fertilizantes, el uso excesivo e inadecuado de los mismos ha provocado ya un serio problema de contaminación de las aguas subterráneas en amplias zonas de muchos países, entre los cuales se encuentra España. Se han detectado, además, ocasiones en las que la fertilización excesiva ha provocado daños especialmente en suelo, tales como una acidificación excesiva (Neilsen y col. , 1993 y Chung, Zasoki y Buran, 1994).

1.3- Efectos de la fertirrigación

1.3.1- Sobre el crecimiento y la producción

Klein y Spieler (1987) observaron efectos significativos de la fertirrigación en manzanos y que las diferentes combinaciones de fuentes amoniacales y nítricas usadas producen diferencias en el rendimiento, llegándolo a aumentar en un 15 % aplicando solamente fuentes nítricas, comparado con fertilizantes que contenían N en forma amoniacal.

En el caso del olivo existen bastantes publicaciones sobre la influencia del riego localizado (Moreno y col. , 1988; García Fernández y Berengena, 1993; Fernández y col. 1993; Moreno y Fernández, 1996), pero menos sobre el efecto de la fertirrigación.

Algunos de estos trabajos se hicieron en condiciones de invernadero (Troncoso y col. , 1986; Barberis y col. , 1988; Yamada y Martin, 1994). En cuanto a la fertirrigación del olivo en condiciones de campo existen muy pocas publicaciones, entre las que destaca la de Martin-Aranda y Troncoso (1986). Estos autores obtuvieron buenos resultados en fertirrigación del olivo con aplicaciones de agua equivalentes al

40 % de la evaporación medida en un tanque clase A y una adición anual de 580 g de N, 35 g de P y 270 g de K por árbol y período de riego. Troncoso y col. (1987) mostraron que las condiciones anteriores originaron pérdidas de N por percolación. Con posterioridad Troncoso (1994) y Troncoso y col. (1997) establecieron criterios de manejo y control de la fertirrigación en el olivo y relacionaron la disponibilidad de N por fertirrigación sobre el crecimiento y la producción del olivo.

1.3.2- Sobre la calidad de aceite

Existe una gran cantidad de factores de carácter genético y agronómico que afectan directamente a la aceituna, primera fábrica de aceite, y por consecuente inciden en la calidad del aceite de oliva. Entre los factores agronómicos extrínsecos, cabe destacar la fertirrigación. Según Ferreira y col. (1978), la fertilización no afecta en nada a la calidad del aceite. Nosotros suponemos que la fertirrigación sí afecta a la calidad del fruto, por lo que en este trabajo estudiamos su efecto también sobre la calidad del aceite.

2.- OBJETIVOS DEL TRABAJO

Los objetivos de este trabajo son:

- ♦ Definir las necesidades de olivos adultos “Manzanilla” fertirrigados en N-P-K, de manera que se obtenga una producción (cantidad y calidad) y crecimiento vegetativo óptimos, a la par que se reduzca al máximo la contaminación producida por el uso de los fertilizantes.
- ♦ Determinar la influencia de la fertirrigación sobre la fertilidad del suelo.
- ♦ Determinar el efecto de la fertirrigación sobre el contenido de Nitrógeno en hoja.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Zona de estudio

3.1.1- Situación y características generales del suelo y de la plantación

El trabajo se realizó en una plantación experimental de 3 ha dentro de una parcela ubicada aproximadamente a 12 km al sureste de Sevilla, y a 1.7 km al noreste de la localidad de Dos hermanas, junto al sanatorio El Tomillar (37° 18' N, 5° 54' W). La plantación es de olivos Manzanilla de 9 años de edad cuando empezó el proyecto en 1998. Los árboles, formados a un pie y con dos ramas principales, están plantados a 7m × 7 m.

Al comienzo del estudio se tomaron muestras del suelo de la plantación hasta 1 m de profundidad con el fin de determinar su composición granulométrica. Para ello se tomaron muestras en 12 puntos de la plantación y se utilizó el hidrómetro (De Leenher y col., 1985). El suelo explorado por las raíces resultó tener una profundidad comprendida entre 0.8 y 1 m y ser de textura franco arenosa. La textura media de esta capa de suelo es 42 % de arena gruesa, 10 % de arena fina, 28 % de limo y 20 % de arcilla. Por debajo de esta capa el suelo es de tipo albero. La parcela es bastante llana, con pendientes máximas en algunos sitios en torno al 10 %. La densidad aparente en la capa 0.0 – 0.2 m de profundidad es de 1.26 Mg m⁻³, y a partir de ahí es de 1.47 Mg m⁻³.

3.1.2- Clima y registros meteorológicos

Mudarra (1988) describe el clima de la zona como templado, típicamente mediterráneo, con inviernos suaves y húmedos y veranos calurosos y secos. La media pluviométrica es de 477 mm anuales (período 1971-1999) y la temperatura media anual

es de 17.5 °C. Según la clasificación climática de Thornthwaite el clima se denomina Mesotérmico-seco-subhúmedo. Según la *Soil Taxonomy*, el régimen de humedad del suelo es Xérico, y el régimen de temperaturas es Térmico.

En la parcela y junto a la plantación se instaló una estación meteorológica automática Campbell (Campbell Scientific Ltd, Leicestershire, UK). Las variables que registra dicha estación se muestran en la Tabla 1. Cada hora se registra el valor medio, máximo y mínimo de cada variable. Los registros de la lluvia se hacen cada 10 min.

En la Fig. 2, se muestra la evolución de las principales variables meteorológicas registradas en “El Tomillar” a lo largo del año 2000: temperatura (T , °C), humedad relativa del aire (H_r , %), radiación solar global (R_{sg} , $W\ m^{-2}$) y precipitación (P , mm).

3.2- Manejo de la parcela

Durante la campaña 1999 / 2000 se trató contra el repilo (*Cycloconium oleaginum*) en Octubre de 1999, enero y octubre de 2000, usando un oxiclورو de cobre. También se trató contra la mosca en julio de 2000. En febrero de 2000 se aplicó un herbicida en línea (Simazina), y en marzo de 2000 un glifosato contra Grama. La poda y un desvareto, suaves se hicieron en febrero de 2000.

3.3.- Determinación del consumo hídrico del cultivo

La parcela está dotada de un sistema de riego por goteo consistente en una línea portagoteros por fila de árboles con 4 goteros de $8\ L\ h^{-1}$ por árbol, separados 1 m entre sí. Un sistema automático inyecta el abono al agua de riego. El diseño experimental está constituido por 6 bloques por tratamiento distribuidos al azar, cada uno con 4 plantas (Fig. 3). Los tratamientos fueron: T1: solo agua de riego; T2, T3 y T4: respectivamente 100, 200 y 400 g de N por árbol y período de riego, de un abono triple N-P-K (4-1-3). El abono se aplicó diluido en el agua de riego todos los días que se regaba, lo cual se hizo diariamente durante el período de riego.

Tabla 1. Variables registradas por la estación meteorológica de la finca experimental

Datos horarios	Datos diarios
Año	Año
Día del año	Día del año
Hhmm (GMT)	Hhmm (GMT)
Humedad relativa media (%)	Humedad relativa media (%)
Temperatura media (°C)	Temperatura media (°C)
Radiación PAR media ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR media ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
Presión de vapor media (kPa)	Radiación global solar (W m^{-2})
Temperatura de punto de rocío media (°C)	Presión de vapor a saturación media (kPa)
Velocidad del viento media (0-360°)	Presión de vapor media (kPa)
Desviación estándar de la dirección del viento	Temperatura de punto de Rocío media (°C)
Velocidad del viento media (m s^{-1})	Velocidad del viento magnitud vector
Hora velocidad del viento máxima	Dirección del viento media (0-360°)
Lluvia acumulada (mm)	Desviación estándar de la dirección del viento
	Temperatura máxima (°C)
	Hora temperatura máxima
	Velocidad del viento máxima (m s^{-1})
	Hora velocidad del viento máxima
	Temperatura mínima (°C)
	Hora temperatura mínima
	Humedad relativa mínima (%)
	Lluvia acumulada mínima (mm)
	Batería (V)

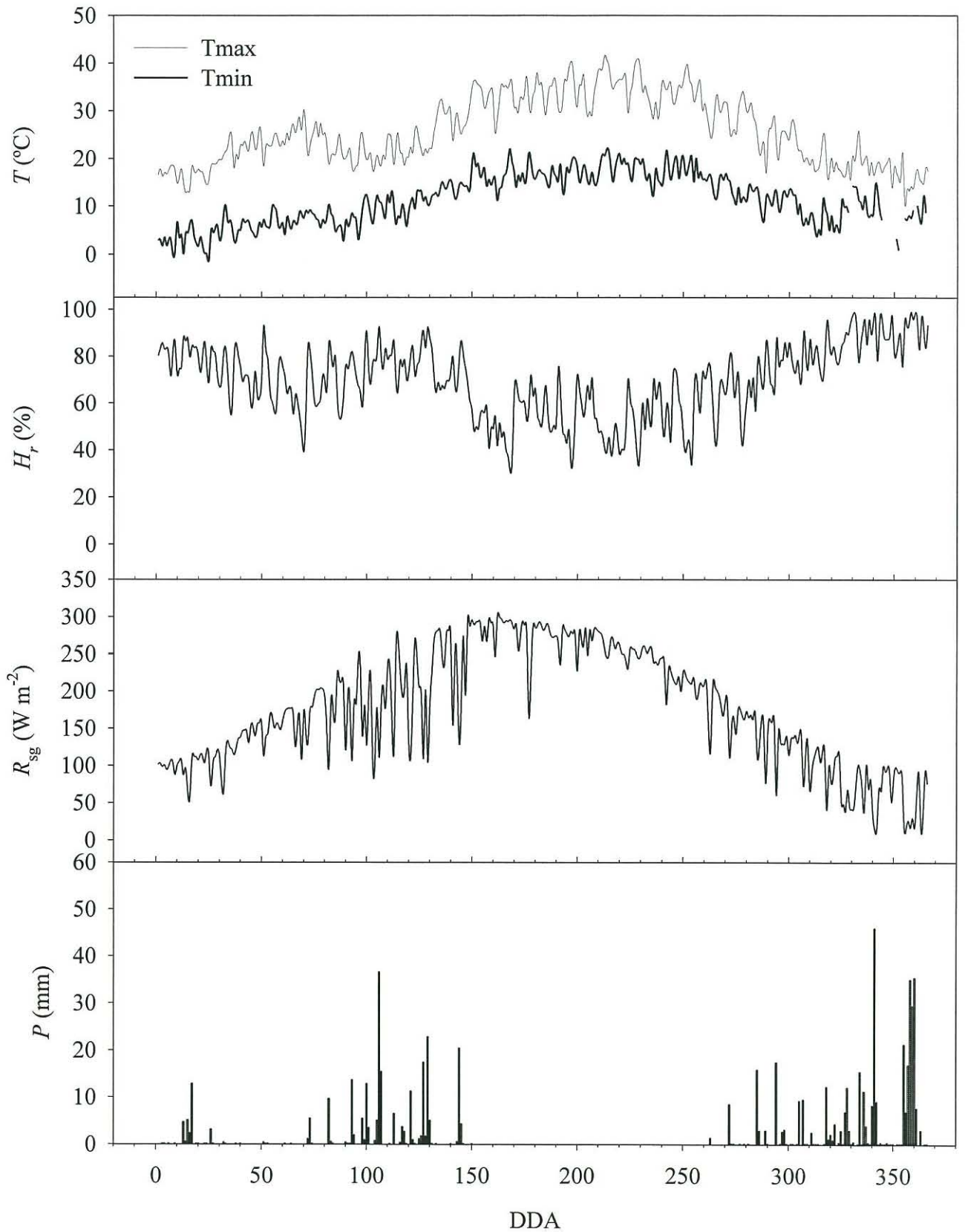


Figura 2. Evolución de las variables meteorológicas más significativas registradas en "El Tomillar", durante el año 2000. T = temperatura del aire diaria; H_r = humedad relativa; R_{sg} = radiación global solar; P = precipitación. DDA = día del año.

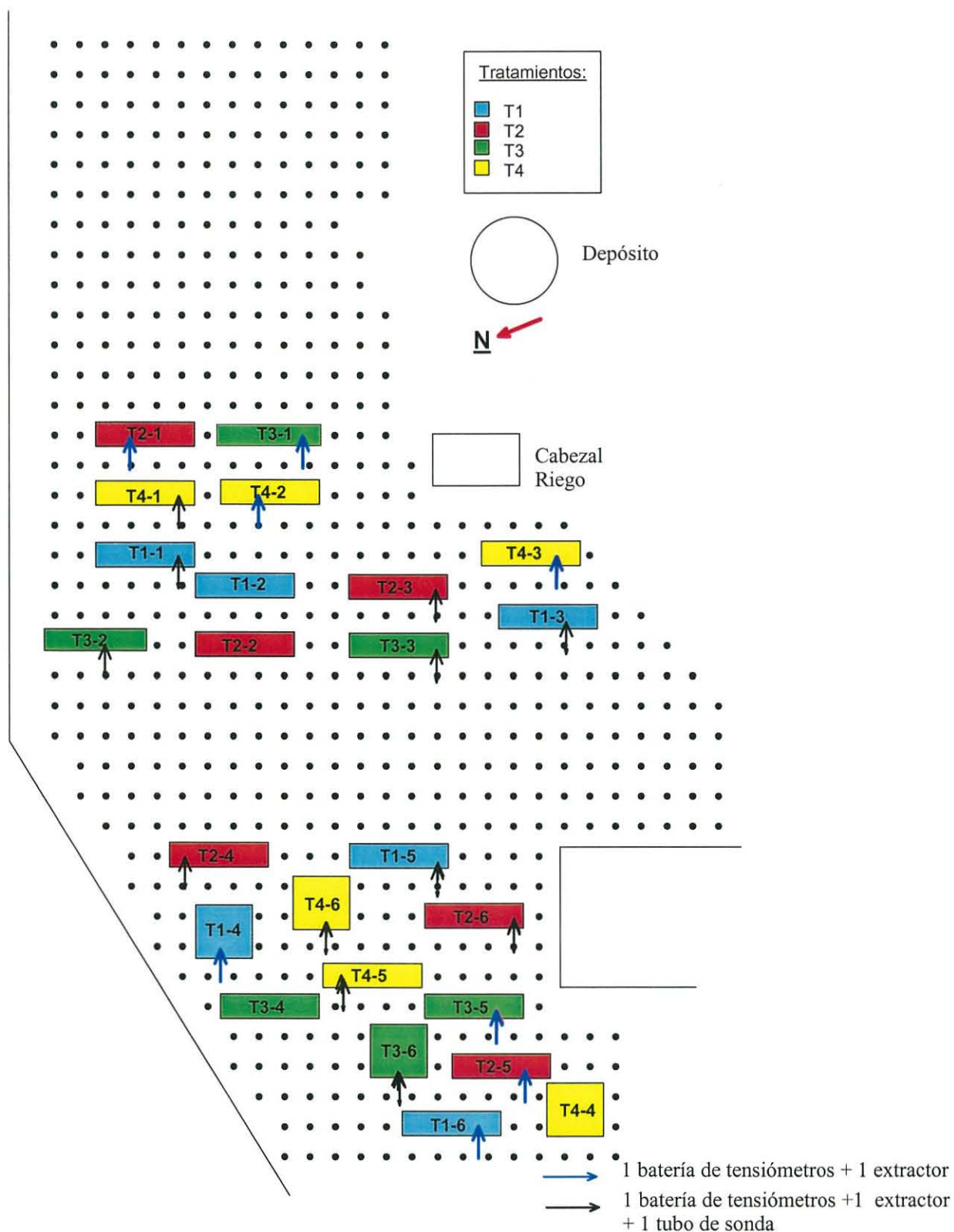


Figura 3. Esquema de la plantación experimental en el que se muestra la distribución de los tratamientos y bloques del diseño estadístico, así como la localización de tubos de acceso de sonda de neutrones, baterías de tensiómetros y extractores de solución del suelo.

La estrategia de riego ha sido aportar el agua que necesita el olivar deduciendo el aporte efectivo de la lluvia. El riego se programaba semanalmente basándose en la evapotranspiración de referencia (ET_r , mm) de la semana anterior. Las necesidades de riego (NR , mm) se calcularon a partir de la ecuación:

$$NR = ET_c - P_e \quad , \quad (1)$$

donde ET_c es la evapotranspiración del cultivo (mm) y P_e es la precipitación efectiva (mm). ET_c se determinó por el método recomendado por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977):

$$ET_c = K_c K_r ET_r \quad . \quad (2)$$

Para que el resultado sea preciso se necesita de una buena estimación de ET_r , para lo cual hay que asegurarse de que la ecuación que se use para calcularla a partir de datos meteorológicos haya sido evaluada como apropiada para la zona. En nuestro caso, la expresión de Penman modificada por la FAO es la que estima ET_r con mayor precisión (Mantovani y col., 1991). ET_r se calculó con el programa REF-ET elaborado en la Universidad de Utah, (Allen, 1990). Su evolución durante el año 2000 se muestra en la Fig. 4. K_c y K_r son coeficientes correctores. K_c es el coeficiente de cultivo que expresa la relación entre ET_c y ET_r (el cultivo de referencia en nuestro caso fue césped). Su valor depende, entre otros casos, de la época del año y de la zona en la que se encuentra el cultivo. Los valores que usamos fueron los determinados por Fernández y col. (1998) para la zona de El Aljarafe (Tabla 2). K_r es un coeficiente de reducción que depende del porcentaje de cobertura del suelo de la parcela por parte del cultivo, de modo que varía entre un poco más de 0 para un olivar recién plantado, y 1 para un olivar adulto que cubra más del 50 % del suelo. El valor usado lo calculamos a partir de la relación que encontraron para el almendro (Feres y col., 1981), ante la falta de información específica para el olivo:

$$K_r = 2 \times \frac{S_c}{100} = 2 \times \frac{18.52}{100} = 0.37 \quad , \quad (3)$$

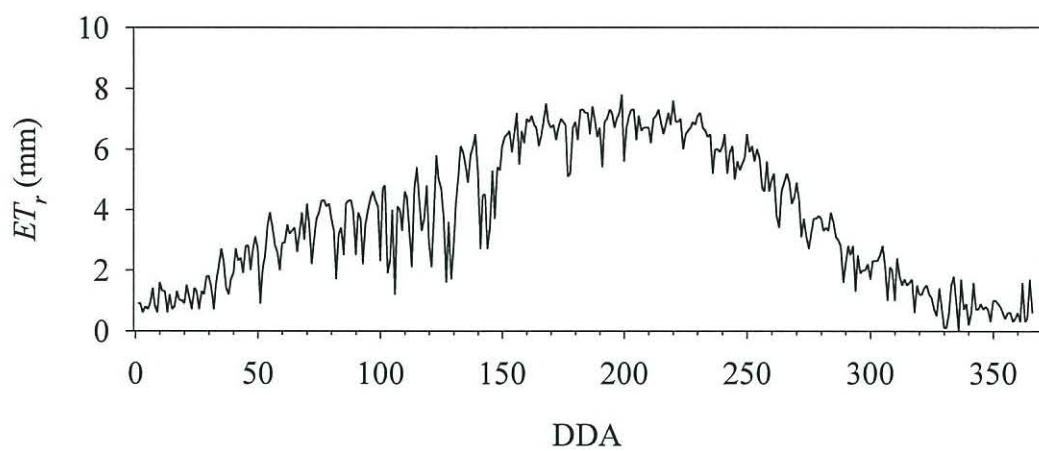


Figura 4. Evolución de la evapotranspiración de referencia (ET_r) en la parcela experimental, durante el año 2000. DDA = día del año.

donde S_c (%) es la superficie sombreada cubierta por los árboles, la cual se calcula en función del diámetro medio de copa (D , m):

$$S_c = \pi \times D^2 \times \frac{N}{400} = 3.1416 \times 3.4^2 \times \frac{204}{400} = 18.52 \% . \quad (4)$$

donde N es el número medio de árboles por hectárea.

El resultado de la ecuación (2) es litros por metro cuadrado y día. Como el marco de la plantación es de 49 m², el resultado se multiplicó por esta cifra para saber los litros que consume cada olivo por día (NR).

$$NR \text{ (L olivo}^{-1} \text{ d}^{-1}) = ET_c \times 49 - P_e \quad . \quad (5)$$

Tabla 2. Valor del coeficiente de cultivo K_c para los meses de la época de riego

Mes	K_c
Marzo	0.70
Abril	0.65
Mayo	0.60
Junio	0.55
Julio	0.50
Agosto	0.50
Septiembre	0.60
Octubre	0.65

3.4- Características del fertilizante

La utilización de un abono líquido comercial evitó el trabajo de preparar la solución madre. El abono usado pertenece a los llamados abonos complejos de reacción ácida (pH = 1), adecuado para riego por goteo. Entre sus características principales destacan:

- Poco salinizante (1 g L⁻¹)

- Reacción muy ácida, que mejora el mantenimiento de tuberías y emisores
- Muy corrosivo, por lo que su manejo debe ser cuidadoso

Fórmula: 9.9-2.5-7.2 (\approx 4-1-3)

pH: 1

Densidad: 1.2 Mg m⁻³

Temperatura de cristalización: 9 °C

N-NH₂: 5.6 %

N-NH₄: 2.2 %

N-NO₃: 2.2 %

Cl: 5.4 %

3.5- Medidas experimentales

3.5.1- Medidas en el suelo

Durante el desarrollo del proyecto se midieron las siguientes variables:

- Contenido de agua en suelo
- Potencial mátrico del agua en suelo
- Nutrientes en la solución del suelo

Medidas del contenido de agua en suelo

a) Moderación de neutrones

Las medidas del contenido volumétrico de agua en suelo (θ , m³m⁻³) se realizaron cada 0.1 m de profundidad, con sonda de neutrones. Para ello, en el período entre abril y mayo de 1999 se instaló un tubo de acceso por árbol en 3 árboles de cada tratamiento (12 tubos en total), en una zona representativa del bulbo de riego, situado a 1.3 m al oeste del tronco del árbol, junto a la línea portagotos, a una profundidad máxima que osciló entre 0.9 m y 1m, debido a la variabilidad de la profundidad de la capa caliza en

el suelo de la plantación. La sonda de neutrones utilizada lleva una fuente radioactiva compuesta de Americio - Berilio y un detector de neutrones de fluoruro de litio. Las medidas se hicieron cada dos semanas a intervalos de 0.1 m desde el fondo de los tubos hasta 0.2 m antes de llegar a la superficie. En los últimos 0.2 m, el contenido de agua se determinó por gravimetría.

Para la correcta utilización de la sonda de neutrones se realizó el calibrado de la misma en el suelo de la plantación antes del comienzo de las medidas. Para ello se realizaron medidas con la sonda de neutrones en un tubo de acceso instalado en una zona representativa del suelo que se regó abundantemente y se dejó secar después, para hacer pasar el suelo por distintos estados hídricos. Paralelamente se tomaron muestras de suelo con barrena de caña, en las cercanías del tubo de acceso, para la determinación gravimétrica del contenido de humedad. Posteriormente se determinó la curva de calibrado de la sonda, relacionando para ello el contenido volumétrico de agua en suelo calculado a partir del muestreo gravimétrico con el número de cuentas (N_c) medido con la sonda (Fig. 5).

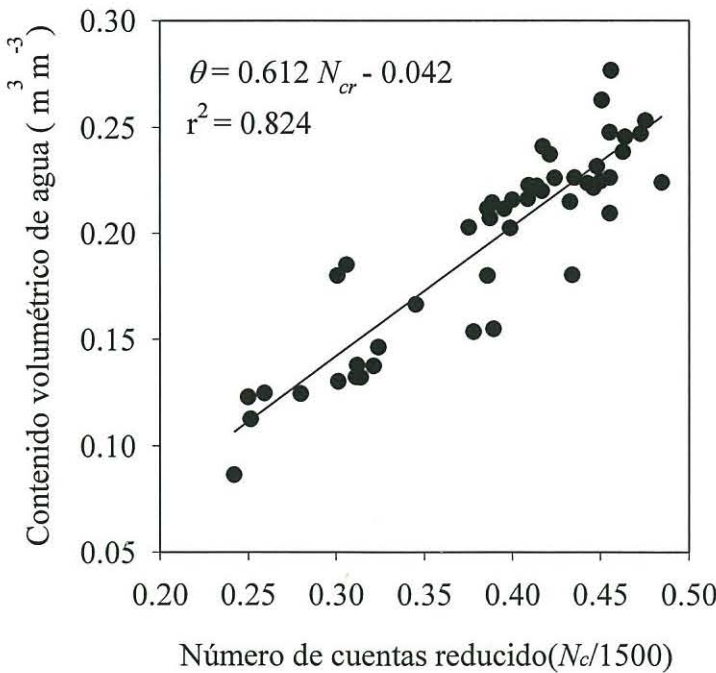


Figura 5. Curva de calibrado de la sonda de neutrones para el suelo de la parcela experimental, obtenida tras comparación de medidas de la sonda con datos gravimétricos. N_c = número de cuentas; N_{cr} = número de cuentas reducido; θ = contenido volumétrico de agua.

b) Gravimetría

Este método se usó en las profundidades donde no es recomendable el uso de la sonda de neutrones (0.0 – 0.2 m). Cada vez que se midió con la sonda, se tomaban dos muestras de suelo (0-0.1 m y 0.1-0.2 m) junto al tubo de acceso. Una vez en el laboratorio se determinó el peso húmedo y, tras secarlas en estufa (24 h a 105 °C), el peso seco. El contenido gravimétrico de agua de la muestra (θ_p , g g⁻¹) se obtuvo según la relación:

$$\theta_p = \frac{P_H - P_S}{P_S - T} \quad , \quad (6)$$

donde P_H es el peso inicial (húmedo); P_S es el peso final (seco) y T es el peso de la cápsula (tara) donde se guardaba la muestra.

Potencial mátrico

Para medir el potencial mátrico se instalaron tensiómetros de mercurio a dos profundidades, uno por debajo del límite inferior de la zona ocupada por las raíces, es decir a una profundidad de 0.65 – 0.7 m situado a 0.7 m del tronco del árbol, y el otro 0.2 m más abajo, a 0.9 m del tronco del árbol, estando los dos a 0.15 m de distancia de la vertical del gotero. Se instalaron 5 de estas baterías por tratamiento (tres de ellas junto a los tubos de sonda). Debido a la variabilidad de la profundidad del suelo, no todos los tensiómetros quedaron a la misma profundidad.

Los tensiómetros usados eran de cápsula porosa y manómetro de mercurio. El potencial mátrico está definido por la ecuación:

$$H = h - z = -12.6 \varphi + y \quad (7)$$

donde: H es la carga hidráulica; h es la succión o el potencial mátrico (mb), definida como la diferencia entre la presión del agua en el suelo y la presión atmosférica, z es la profundidad a la que se encuentra instalado el tensiómetro (cm); φ es la altura de la

columna de mercurio (cm), y y es la distancia desde la superficie del suelo hasta el nivel de referencia (cm), donde comienza la columna de mercurio.

Las baterías de tensiómetros permitieron determinar la dirección del movimiento del agua en el suelo, ascendente o descendente (percolación o drenaje).

Contenido de nutrientes en la solución del suelo

Para su determinación se instaló junto a cada batería de tensiómetros un extractor de cápsula porosa para la extracción de la solución del suelo, con lo cual teníamos 5 extractores por tratamiento a una profundidad de 0.8 m. En estas cápsulas se recogieron muestras durante el invierno con una frecuencia que dependió de las lluvias, haciéndose siempre el vacío (-0.08 MPa) un día antes la toma de muestras. En cada muestreo se determinó: pH, C.E., CO_3H^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_2^- , NO_3^- y NH_4^+ .

3.5.2.- Medidas en la planta

Caracterización del crecimiento

Cada año, en invierno, se midió:

- El grosor del tronco: medido como perímetro a una altura de 0.2 m del suelo,
- Altura de la copa
- Diámetro de la copa: media del diámetro paralelo y transversal a la línea de árboles, en 64 árboles elegidos de los cuatro tratamientos (16 árboles de cada tratamiento).

Floración, fructificación y producción (medidas anuales)

Cada año se eligieron dos árboles con buena floración por tratamiento y bloque y se marcaron 10 ramos por árbol. En estos ramos se midió la cantidad de flores, la fructificación, el cuajado, y el número de nudos de cada brote.

También se midió el peso del fruto en recolección, en una muestra de 1 kg por árbol y el índice de forma, medido como la relación entre longitud y anchura en una muestra de 100 frutos por tratamiento y bloque.

Se midieron también kilos de frutos por árbol y por tratamiento, y se determinó el índice de calidad de aceite midiendo para ello su acidez, su índice de peróxidos, su contenido en polifenoles y su composición en ácidos grasos.

3.5.3.- Control de la calidad del aceite

De los 64 árboles del apartado (3.5.2.) se cogieron frutos que se enviaron a la estación de Olivicultura de Jaén para analizar la calidad del aceite respectivo. Se determinó el índice de calidad del aceite así como su composición acídica.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1- Estado hídrico del suelo

4.1.1- Contenido volumétrico de agua en suelo

En la Fig. 7 se muestran los perfiles hídricos medidos en el suelo de árboles representativos de cada tratamiento (3 árboles por tratamiento). Las medidas se hicieron con el método de moderación de neutrones y el de gravimetría como se explicó en el apartado a) del párrafo 3.5.1.

A lo largo del año 2000, tanto durante el período de riego como durante el período de lluvias, los perfiles mostraron un comportamiento similar en todos los tratamientos. Esto demuestra que todos los árboles estuvieron sometidos a todo momento a un régimen hídrico parecido.

Aunque hubo diferencias significativas entre tratamientos en el contenido de agua en el suelo explorado por las raíces, durante el período de riego, el suelo se mantuvo próximo a capacidad de campo ($\theta = 0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) en todos ellos, lo cual demuestra que el agua no fue un factor limitante para el desarrollo del cultivo.

En las medidas hechas en el mes de abril, se nota que el contenido de agua en suelo desde la superficie hasta 0.2 m de profundidad fue muy alto. Esto se explica por las lluvias caídas en aquella época.

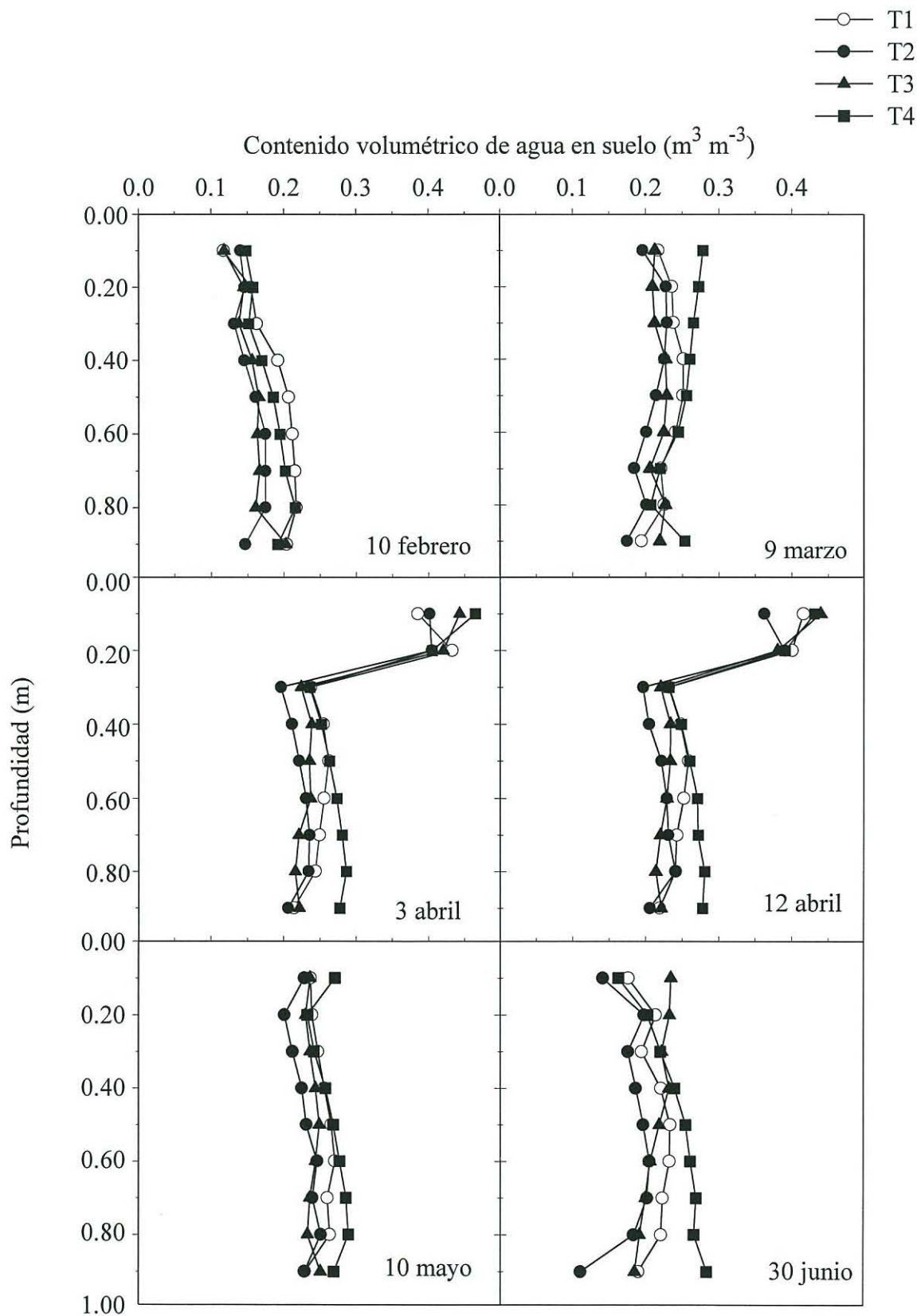


Figura 7. Evolución de los perfiles de contenido de agua en suelo medidos en los cuatro tratamientos de fertirrigación, T1, T2, T3 y T4, en diferentes fechas del año 2000. Cada punto de las curvas es la media de tres medidas. El error estándar osciló entre 0.007 y 0.01

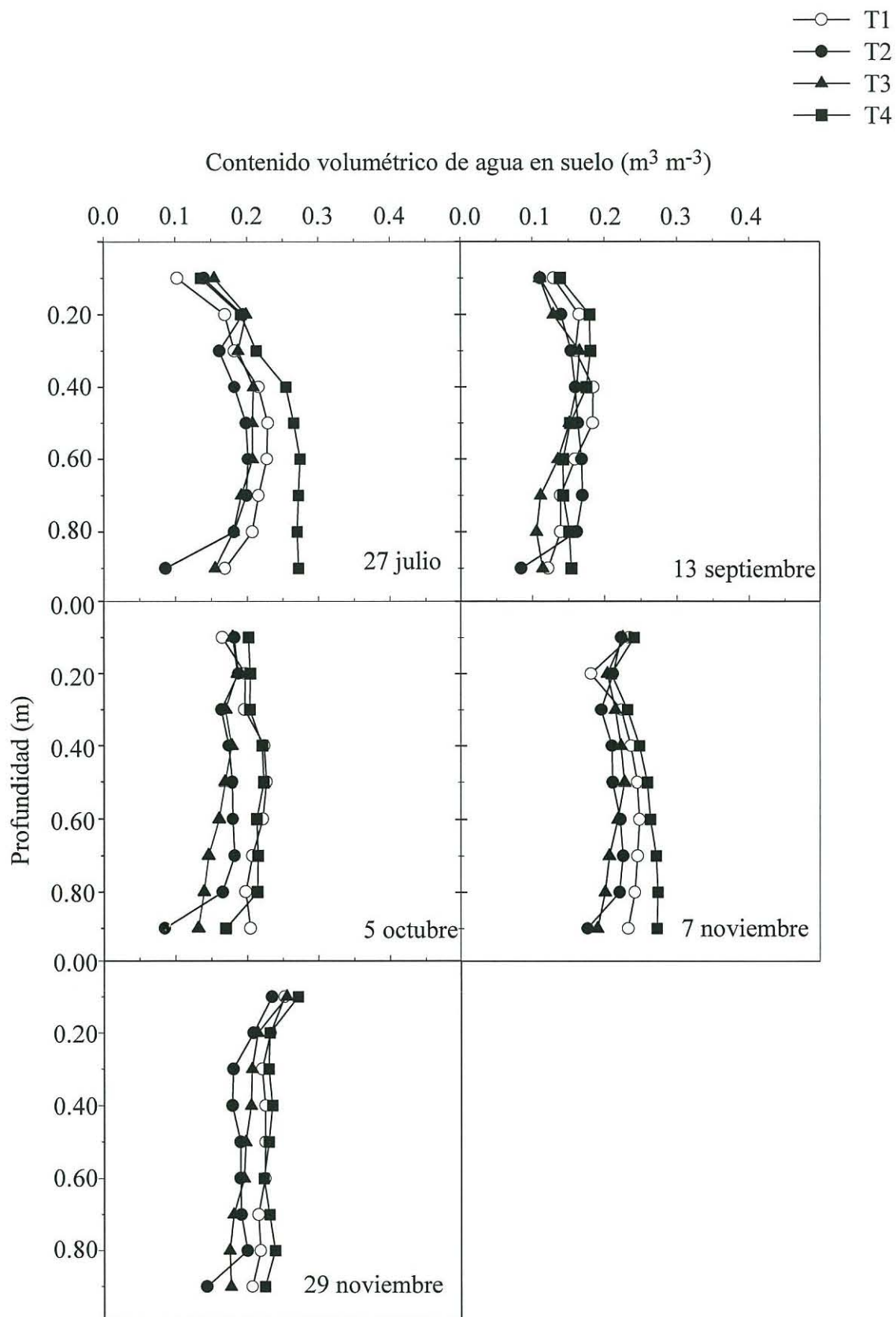


Figura 7. Continuación.

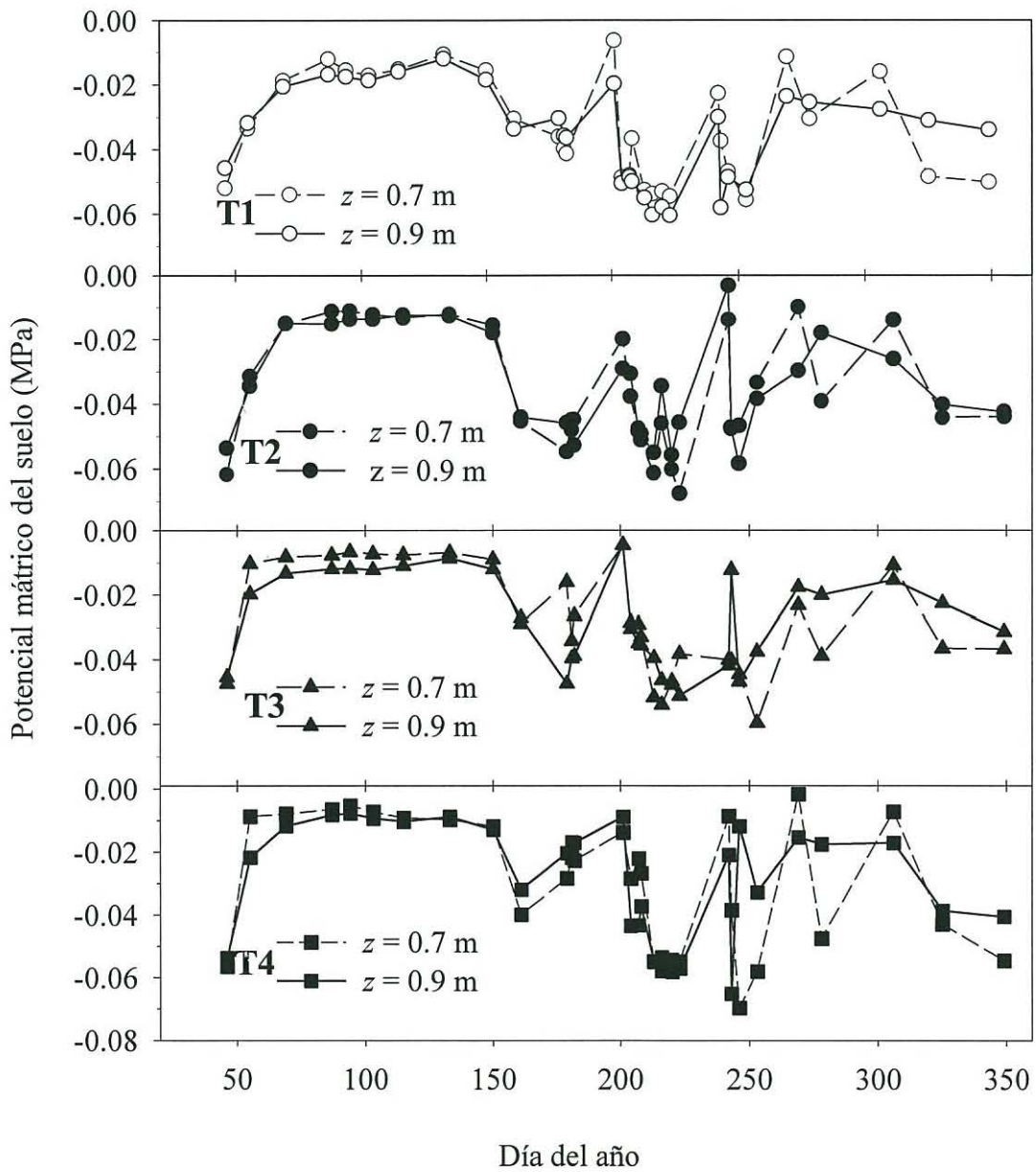


Figura 8. Evolución del potencial mátrico del suelo de la plantación en los cuatro tratamientos de fertirrigación (T1 a T4), a las dos profundidades (z) y a lo largo del año 2000. Cada punto de las curvas es la media de 5 lecturas.

4.1.2- Potencial mátrico del suelo

Los valores de h durante el año 2000 en los cuatro tratamientos y a las dos profundidades a las que habíamos instalado los tensiómetros, se representan en la Fig.8.

La evolución de h , en general, fue similar en los cuatro tratamientos debido a que el riego fue uniforme para todos ellos, como se ha dicho en la sección anterior.

En el mes de febrero y en las dos profundidades h aumentó al producirse las lluvias de otoño hasta llegar a un valor en torno a -0.01 MPa en los cuatro tratamientos, y se mantuvo próximo a este valor hasta finales de mayo. Esta estabilidad fue debida a que, además de las lluvias que habían caído en esta época, se empezó a regar en marzo. Los descensos que se ven a finales de julio y mediados de agosto pueden ser debidos a la escasez de las lluvias y a una extracción notable del agua por las raíces que la necesitaron más en esta época de alta demanda atmosférica. Luego, el potencial mátrico volvió a subir a finales de agosto por haber aumentado la dosis de riego.

4.2- Efectos de la fertirrigación sobre el contenido de nutrientes del suelo

Como se puede deducir de la Tabla 3, hubo pocas fechas en las que pudimos obtener muestras de solución de suelo durante el año 2000. Esto es un problema habitual al usar cápsulas porosas en condiciones de suelo no saturado.

Es lógico que al fertilizar un suelo éste disponga de un contenido mayor de nutrientes. Entre todos los elementos analizados destaca la diferencia en el contenido de nitratos entre tratamientos, que fue mayor en los tratamientos T3 y T4 y menor en los demás. Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos por Troncoso y col. (1987), que encontraron contenidos altos de nitratos en el suelo del cultivo fertilizado con 2 kg de urea / año / árbol, llegando hasta 1500 ppm a finales del mes de julio, mientras que en la misma fecha, el contenido de nitratos medido en suelo no fertilizado fue 17.5 ppm. En nuestros resultados, el aumento del contenido de nitrato que se nota después de su descenso en el mes de noviembre pudo ser debido a que se hubiese lavado parte de los nitratos con las lluvias de este mes.

En las muestras tomadas el 3 de noviembre se nota cantidades altas de Na y de Cl acompañadas de una conductividad eléctrica también alta. Esto podría ser debido a un movimiento de sales en el exterior del bulbo de riego, que habría disminuido de volumen hasta entrar su parte externa de interfase con el suelo seco en contacto con la cápsula extractora.

Aun no se puede decir que el contenido de nitratos es normal, alto o bajo en el suelo de la plantación, ya que no hay suficiente información publicada sobre el tema. Pero comparando nuestros resultados con los obtenidos por Madejón y col. (2000) y (2001), podemos concluir que son valores corrientes para el suelo de la provincia de Sevilla.

Tabla 3. Resultados de los análisis de la solución de suelo tomada con los extractores a 0.8 m de profundidad para el año 2000.

Fecha	Trat.	PH	CE dSm ⁻¹	Ca meq l ⁻¹	Mg meq l ⁻¹	Na meq l ⁻¹	K meq l ⁻¹	Cl meq l ⁻¹	S-SO ₄ meq l ⁻¹	CO ₃ ⁼ meq l ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg l ⁻¹
30/03	T-1	8.07	0.962	4.15	2.80	3.45	0.20	3.80	0.12	3.80	22
13/04	T-4	7.90	1.658	6.70	1.98	4.29	0.06	5.49	0.04	3.5	410
	T-1	7.73	0.783	6.00	0.73	2.49	0.03	2.57	0.35	5.2	42
3/11	T-2	7.78	2.930	6.26	3.87	20.88	0.07	17.60	10.38	8.5	19
	T-3	7.46	1.134	9.22	0.99	3.99	0.04	3.96	1.83	59	133
	T-4	7.64	1.221	5.12	1.05	7.66	0.10	5.43	0.33	8.5	16
	T-1	7.82	2.300	6.58	1.29	20.34	0.07	10.80	10.13	6.9	1
22/11	T-2	7.83	0.935	4.33	1.38	5.54	0.04	5.20	0.70	5.7	3
	T-4	7.43	1.250	5.05	1.99	7.57	0.07	8.40	0.33	4.5	89

4.3- Efectos de la fertirrigación sobre el crecimiento y la producción

Crecimiento

Los resultados de crecimiento y desarrollo del año 2000 se muestran en la Tabla 4. Como puede verse, el incremento de los parámetros de crecimiento de la planta fue similar entre el tratamiento sin fertilización que en los otros, de forma que no se notó efecto de la de fertilización después de dos años de tratamiento. Esto puede ser debido a las reservas de nutrientes, tanto en el suelo como en los árboles, siendo previsible que,

en el futuro, sí se lleguen a notar diferencias entre tratamientos, al menos entre los más diferenciados.

Tabla 4. Parámetros del desarrollo de la planta medidos en invierno de 2000 (media de 16 árboles por tratamiento).

Trata Miento	Volumen de copa (m ³)	Altura de copa (m)	Diámetro medio (m)	Perímetro de tronco (m)	Incremento Perímetro de tronco 98-00 (m)	Incremento Volumen de Copa 98-00 (m ³)
T-1	21.43 a	3.51a	3.40 a	0.48 a	0.09 a	6.78 a
T-2	24.04 a	3.65 a	3.53 a	0.50 a	0.10 a	8.09 a
T-3	22.64 a	3.60 a	3.44 a	0.50 a	0.10 a	7.40 a
T-4	21.72 a	3.52 a	3.40 a	0.49 a	0.09 a	6.61 a

Valores en una columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes (P<0.05)

Producción

En la Tabla 5 se muestran, para cada tratamiento, los kilos de fruto por árbol así como el peso del fruto. Se puede ver claramente que no hubo prácticamente ninguna diferencia de producción entre los cuatro tratamientos. Estos resultados nos sugieren, junto con los anteriores, que quizás tengamos que prorrogar los tratamientos de fertilización para más tiempo para poder detectar diferencias entre los mismos.

Tabla 5. Producción (kg / árbol) de los árboles de los distintos tratamientos (media de 16 árboles por tratamiento) y peso de fruto (g) registrados para el año 2000.

Tratamiento	Producción	
	kg / árbol	g / fruto
T1	43.13 a	2.99 a
T2	49.86 a	2.83 a
T3	48.71 a	2.98 a
T4	48.06 a	3.30 a

Valores en una columna seguido de la misma letra no son significativamente diferentes (P<0.05).

4.4- Efectos de la fertirrigación sobre la calidad del aceite

En la Tabla 6 se muestran los resultados de los análisis del índice de aceite de frutos procedentes de los cuatro tratamientos, facilitados por la estación de Olivicultura de Jaén.

La composición ácida de aceites procedentes de frutos de los distintos tratamientos, se muestra en la Tabla 7.

Los valores del índice de calidad así como la composición ácida del aceite fueron similares en los cuatro tratamientos. Esto significa que después de dos años de fertirrigación, aún no se puede ver su efecto sobre la calidad del aceite.

Desde el punto de vista de la salud, en un aceite es deseable un alto contenido en ácido oleico y bajo en palmítico y linoleico (Uceda M. 1994). Los análisis de la composición ácida de los aceites procedentes de frutos de los cuatro tratamientos mostraron que este fue el caso en los aceites de los cuatro tratamientos de fertirrigación, denotando un aceite de calidad.

Tabla 6. Valores del índice de calidad del aceite de cada tratamiento.

Tratamiento	Acidez (%)	Índice de Peróxidos	K ₂₃₂	K ₂₇₉	K ₂₂₅	Polifenoles (ppm)
T1	0.26 a	11.94 a	1.92 a	0.23 a	0.61 a	1161 a
T2	0.21 a	13.08 a	1.29 a	0.20 a	0.59 a	970 a
T3	0.20 a	14.56 a	1.83 a	0.19 a	0.60 a	1047 a
T4	0.34 a	14.90 a	1.88 a	0.21 a	0.60 a	1104 a

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra, no son significativamente diferentes.(P < 0.05)

Tabla 7. Composición ácida de los aceites de cada tratamiento.

Trat.	Polifenoles	C16	C'16	C17	C'17	C18	C'18	C''18	C'''18	C20	C'20	C22	C24
	Totales	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
T1	1161	14.02	1.38	0.23	0.35	2.28	76.21	3.86	0.68	0.49	0.33	0.13	0.28
T2	970	14.12	1.35	0.20	0.28	2.27	75.48	4.59	0.69	0.43	0.30	0.12	0.14
T3	1047	14.10	1.28	0.17	0.28	2.26	75.50	4.75	0.69	0.44	0.29	0.13	0.12
T4	1116	14.14	1.27	0.16	0.25	2.28	75.50	4.78	0.69	0.45	0.28	0.12	0.12

C16 (*Ac. Palmítico*), C'16 (*Ac. Palmitoleico*), C17 (*Ac. Margárico*), C'17 (*Ac.Margaroleico*), C18 (*Ac. Esteárico*), C'18 (*Ac. Oleico*), C''18 (*Ac. Linoleico*), C'''18 (*Ac. Linolénico*), C20 (*Ac. Aráquico*), C'20 (*Ac.araquídico*), C22 (*Ac. Behénico*), C24 (*Ac. Lignocérico*).

4.4. efectos de la fertirrigación sobre el contenido de N en hojas

La Fig. 10 representa la distribución espacial del contenido de N en las hojas de los distintos tratamientos, y a lo largo de las secciones norte - sur y este – oeste de las copas de los árboles.

En ambas secciones, se nota que el tratamiento T1 es el que tiene menos N en hoja y que el contenido mayor se encuentra en T3 y T4. El tratamiento T2 muestra una situación intermedia.

Aquí también podemos decir que la fertirrigación afectó al contenido de N en hojas y que probablemente la radiación le afectó también, ya que las partes más soleadas de la copa fueron donde se encontró un mayor contenido en N.

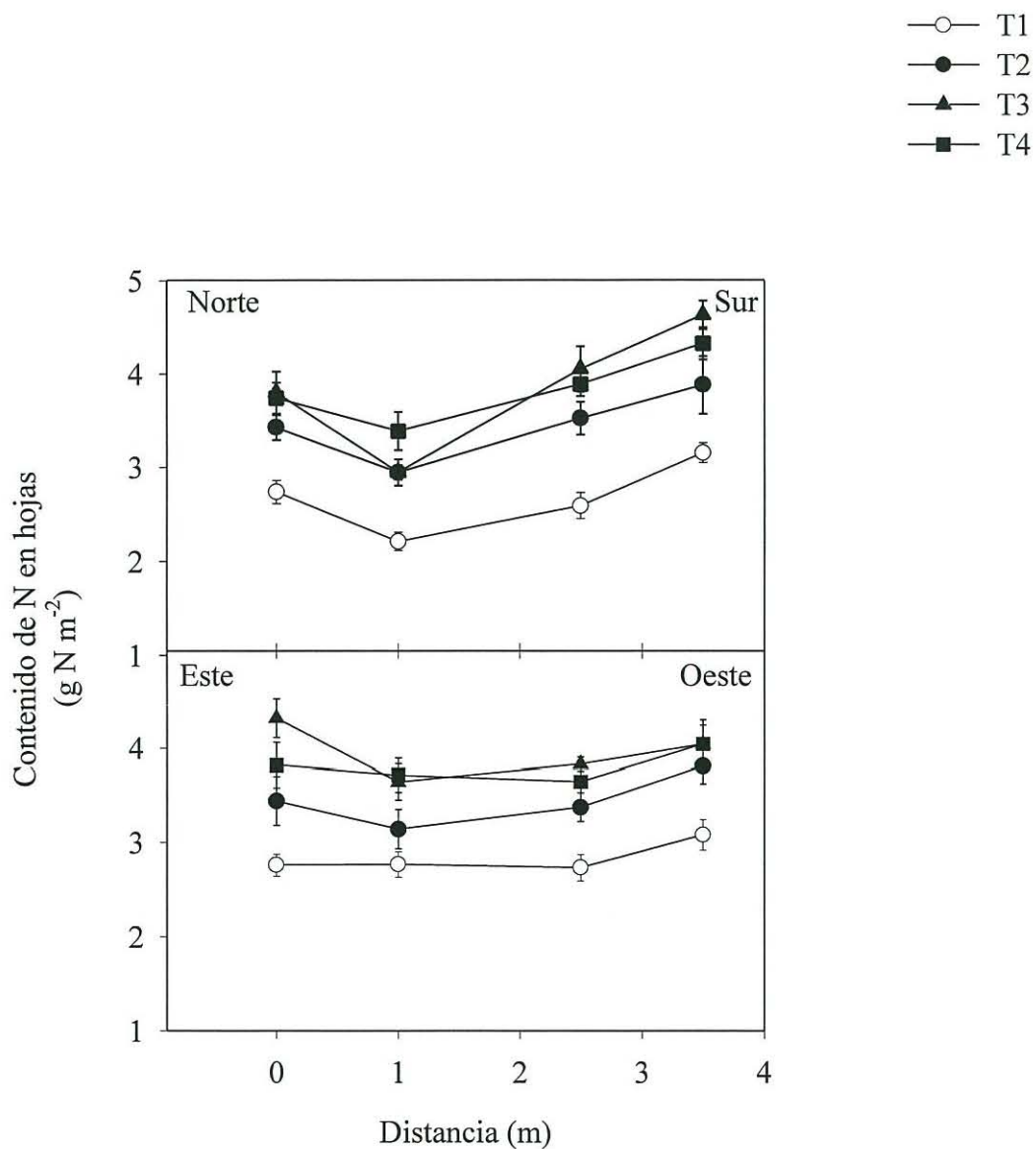


Figura 10. Distribución espacial del contenido de N en los distintos tratamientos, expresado por unidad de área foliar. Cada punto es la media de 10 medidas. Las barras verticales representan el error estándar.

5.- CONCLUSIONES

Las conclusiones fundamentales a las que se ha podido llegar, tras la finalización de este trabajo y considerando que el mismo se refiere a unos experimentos que aún están en marcha, son:

1.- Después de dos años fertirrigando los olivos, parece que la fertilización no ha tenido una influencia significativa sobre el crecimiento, la producción o la calidad del aceite. Esto difiere de lo esperado, por lo que quizás haya que continuar con los tratamientos más tiempo antes de obtener conclusiones definitivas.

2.- La fertirrigación influyó en el contenido de N en hoja y en el peso específico de la misma. Es previsible, por tanto, encontrar diferencias futuras entre tratamientos sobre crecimiento y producción. Los valores más altos del peso específico y del contenido en N, se encontraron en los tratamientos T3 y T4, los más fertilizados.

3.- La fertirrigación afectó al contenido de nitratos en suelo, de forma que encontramos los contenidos más altos en el suelo de los tratamientos T3 y T4.

4.- Parece claro que es conveniente fertilizar los olivares de la zona con N. También parece que con el tratamiento T4 se producen pérdidas elevadas de este elemento por lavado en suelo. Nuestros resultados sin embargo, no permiten aún establecer cual es el tratamiento más adecuado.

6.- BIBLIOGRAFÍA

Abd-el-Rahman A A y El-sharkawi H M 1974. Response of olive and almonds orchards to partial irrigation under dry-farming practices in semi-arid regions: II. Plant-soil water relations in olive during the growing season. *Plant Soil*, **41**: 13-31.

Baethgen WE and Alley MM 1989. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium Nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. Commun. In Soil Sci. Plant Anal., **20** (9 &19): 961 – 969

Chung J B, Zasoski R J y Buran R G 1994 Aluminium Potassium and Aluminium-Calcium exchange equilibria in bulk and rhizosphere soil. *Soil science Society of America Journal* **58** 1376-1382.

Denney JO y McEachern GR, 1985. Modelling the thermal adaptability of the olive (*Olea europaea* L.) in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*, **35**: 309-327.

Dreccer MF, Van Oijen M, Schapendonk AHCM, Pot CS and Rabbinge R, 2000. Dynamics of vertical leaf nitrogen distribution in a vegetative wheat canopy. Impact on canopy photosynthesis. *Annals of Botany* **86**: 821-831.

Evans JR, 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia* **78**: 9-19.

Farquhar GD, Caemmerer S von and Berry JA, 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta*, **149**: 78-90.

Fernández JE, Moreno F, Girón IF, and Blázquez OM 1997.a Stomatal control of water use in olive tree leaves. *Plant and soil* **190**: 179-192.

Fernández JE y Moreno F, 1999 Water use by the olive tree. *Journal of Crop Production* **2**: 101-162

Fernández JE y Moreno F, 1999. Water use by the olive tree. *Journal of Crop Production*, **2**: 101-162.

Fernandez JE, Moreno F, Martín-Aranda J y Fereres E, 1992. Olive-tree root dynamics under different soil water regimes. *Agricultura Mediterranea* , **122**: 225-235

Fernández JE, Moreno F y Martin-Aranda 1993 Water status of olive trees under dry-farming and drip-irrigation. *Acta Hort.* **335**: 157-164

Fernández-Escobar R, 1999. Fertilización. En: Barranco D, Fernández-Escobar D y Rallo L (eds.), *El cultivo del olivo*. MundiPrensa Madrid, Barcelona, México. pp 247-264.

Ferreira J, Uceda M, Frias L, García A, Fernández A, 1978. Influencia de los fertilizantes en el rendimiento en aceite de los frutos y en la composición de ácidos grasos del aceite obtenido. *Colloque International Oleicole. Bargemon (Francia)*.

Field C, 1983. Allocation leaf nitrogen for the maximisation of carbon gain: Leaf age as a control on the allocation program. *Oecologia* **56**: 341-347.

García-Fernández MD y Berengena J, 1993. Respuesta del olivo a diferentes dosis de agua de riego. Estimación de coeficientes de cultivo. Resúmenes de la XI Jornadas Técnicas de Riegos. Valladolid, Junio. pp. 107-113

Goldhamer DA, 1997. Regulated deficit irrigation for California canning olives. Proc. Del third Symposium on Olive Growing, Chania, creta, 22-26 septiembre. pp. 369-372.

Granelli G, Lovati F and Testoni A, 1994. Fertigation in kiwifruit growing. *Informatore agrario* **50** (34) 65-68.

Harley PC, Thomas RB, Reynolds JF and Strain BR, 1992. Modelling photosynthesis of cotton grown in elevated CO₂. *Plant, Cell and Environment*, **15**: 271-282.

Hartmann HT, 1953. Effect of winter chilling on fruitfulness and vegetative growth in the olive. *Proceedings of the american Society for Horticultural Science*, **62**: 184-190.

Hirose T y Werger MJA, 1987. Maximazing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation patterns in the canopy. *Oecologia*, **72**: 520-526.

Hirose T, Werger MJA, Pons TL y Van Rheeën JWA, 1988. Canopy structure and leaf nitrogen distribution in a stand of *Lysimachia vulgaris* L. As influenced by stand density. *Oecologia*, **77**: 145-150.

Klein Y and Spieler G, 1987. Fertigation of apples with nitrate or ammonium nitrogen under drip irrigation II. Nutrient distribution in the soil. Commun. In soil Sci. *Plant Anal.*, **18** (3), 323-339.

Lavee S, Nashef M, Wodner M and Harshemesh H, 1990. The effect of complementary irrigation added to out olive trees on fruit characteristics, yield and oil production. *Adv. Hort. Sci.*, **4**: 135-138.

Leuning R, Cromer RN and Rance S, 1991. Spatial distribution of foliar nitrogen and phosphorus in crowns of *Eucaliptus grandis*. *Oescologia*, **88**: 504-510.

Leuning R, Kelliher FM, De Pury DGG y Schulze E-D, 1995. Leaf nitrogen, photosynthesis, conductance and transpiration: scaling from leaves to canopies. *Plant, Cell and Environment*, **18**: 1183-1200.

Madejón E, Díaz M.J, López R, Cabrera F , 2000. A study on nitrogen leaching under crops fertilised with mineral and organic fertilisers in lysimeters. *Control of Adverse Impacts of Fertilisers and Agrochemicals*. 22-27 October 2000. Cape Town South Africa.

Mantovani CE, Berengena J, Villalobos FJ, Fereres E, 1991. Medidas y estimaciones de la evapotranspiración real del trigo de regadío en Córdoba. *Actas IX Jornadas Técnicas de Riegos. Granada*.

MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 1998. *Anuario de Estadísticas agraria*.

Martín-aranda J, Arrúe-Ugrate JL, Muriel-Fernández JL, 1975. Evapotranspiration regime and water economy physical data in olive grove soils in SW Spain.

Martin-Aranda J and Troncoso A, 1986. Fertigation experiments in table-olive orchards of various plant spacings. XXII International Horticultural Congress. University of California, Davis. USA.

Moreno F, Fernández JE, Clothier BE and Green SR, 1996. Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant and soil*, **184**: 85-96.

Moreno F, Vachaud G, Martín-Aranda J, Vauclin M y Fernández JE, 1988. Balance hídrico de un olivar con riego gota a gota. Resultados de cuatro años de experiencias. *Agronomie*, **8** (6): 521-537.

Neilsen GH, Parchomchuk P Wolk and Lau OL, 1993. Growth and mineral-composition of newly planted apple-trees following fertigation with N and P. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. Vol **118**, Iss 1, pp 50-53.

Neuman PM and Snir N, 1995. Fertigation: is there a physiological advantage?. *International Water and Irrigation review*. **15** (4): 19-20.

Niels P.R. Anten, Kouki Hikosaka and Tadaki Hirose, (?). Nitrogen utilisation and the photosynthetic system.

Orgaz F y Fereres E, 1999. Riego. En: Barranco D, Fernández-Escobar D y Rallo L (eds.), *El cultivo del olivo*. Ed. Mundiprensa. 267 pp.

Rosati A, Esparza G, Dejong TM and Pearcy RW, 1999. Influence of canopy light environment and nitrogen availability on leaf photosynthetic characteristics and photosynthetic nitrogen-use efficiency of field-grown nectarine trees. *Tree Physiology*. **19**: 173-180.

Santamaría M, López R, Cantos M, ¿?. Suelos y estados de nutrición del olivar de la provincia de Sevilla.

Troncoso A, 1994. Fertirrigación del olivo. *Olivicultura*. 65-69

Troncoso A, Liñan J, Cantos M, Zárate R y Lavee S, 1997. Influencia de la fertirrigación con urea sobre la disponibilidad de N-NO₃ y el desarrollo del olivo.

Yáñez J and Lachica M, 1971. El olivar. Revisión de la condiciones de cultivo. *Anal. Edaf. Agrobiol.* **30**: 789-816.